

Fácies e associação de fácies da Formação Piramboia na região de Descalvado (SP)

Facies and facies association of Piramboia Formation in the region of Descalvado (SP)

Ariane Raissa Pinheiro Côrtes¹ e José Alexandre de Jesus Perinotto²

¹Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Unesp, Avenida 24-A, 1.515 – Bela Vista, CEP 13506-900, Rio Claro, SP, BR (ariane.rpc@gmail.com)

²Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Unesp, Rio Claro, SP, BR (perinotto@rc.unesp.br)

Recebido em 27 de dezembro de 2014; aceito em 19 de junho de 2015

Resumo

A Formação Piramboia é uma unidade litoestratigráfica da Bacia do Paraná que tem sido alvo de diversos estudos em razão de sua grande importância como componente primordial no Sistema Aquífero Guarani e no sistema petrolífero Irati-Piramboia, atuando como excelente rocha-reservatório. Historicamente, essa unidade tem sido alvo de diversas controvérsias quanto à idade, relações de contato com as unidades sotoposta e sobreposta e paleoambiente deposicional. Entretanto, é comumente considerada de idade triássica e produto da deposição em sistemas eólicos úmidos, com abundância de interdunas úmidas e fácies fluviais subordinadas. Neste trabalho, a Formação Piramboia foi caracterizada por meio de técnicas como análise de fácies, associação vertical e lateral de fácies e arquitetura deposicional realizadas a partir de levantamentos nas frentes de lavra da Mineração Jundu, em Descalvado, nordeste do estado de São Paulo. Foram descritas cinco fácies para a Formação Piramboia na região de estudo: St, Sh, Sm, Sr e Gt, geradas por meio de processos sedimentares do tipo carga de fundo, a maioria sob regime de fluxo inferior. Além disso, foram reconhecidas quatro associações de fácies que permitem estabelecer quatro elementos arquitetônicos presentes no canal fluvial principal: Complexo de barras de canal, constituído pelas macroformas de acreção vertical (FM), forma de leito arenosa (SB) e forma de leito do tipo barras conglomeráticas (GB); Depósito de enchentes, constituído pelos lençóis de areia laminados (LS); Depósitos de fluxos hiperconcentrados e depósitos eólicos. Os resultados indicam que a Formação Piramboia na região de estudos é o registro da sedimentação em rios entrelaçados com depósitos de dunas e interdunas subordinados que caracterizam interação fluvio-eólica.

Palavras-chave: Bacia do Paraná; Formação Piramboia; Elementos arquitetônicos; Ambiente deposicional; Fluvio-eólico.

Abstract

The Piramboia Formation is a lithostratigraphic unit of the Paraná Basin that has been the focus of several studies due to its great importance as an essential component in the Guarani Aquifer System and the Irati-Piramboia petroleum system, consisting of an excellent reservoir. Historically, it was subject to several controversies on issues as age, contact relationships with the upper and lower units as well as its depositional paleoenvironment. However, it is commonly considered as Triassic age and product of wet aeolian systems, with plenty of wet interdunes and subordinate fluvial facies. In this work, the Piramboia Formation was characterized by techniques such as facies analysis, vertical and lateral facies association and depositional architecture based on data from mining fronts at Jundu Mining, Descalvado, northeastern São Paulo. Five facies were described for the Piramboia Formation in the studied region: St, Sh, Sm, Sr and Gt facies, generated by sedimentary processes of bottom load type, mostly under low flow regime. Furthermore, four facies associations were recognized which establish four architectural elements present in the main river channel: complex channel bars, composed by foreset macroforms (FM), sandy bedforms (SB) and gravel bars and bedforms (GB); flood deposits, constituted by laminated sand sheets (LS); deposits of hyperconcentrated flows and aeolian deposits. The results indicate that Piramboia Formation in the study region is the record of the sedimentation of braided rivers, with dunes and interdunes deposits occurring subordinately, characterizing fluvial-aeolian interaction.

Keywords: Paraná Basin; Piramboia Formation; Architectural elements; Depositional environment; Fluvio-aeolian.

INTRODUÇÃO

Estudos acerca das fácies sedimentares da Formação Piramboia remontam ao século passado, dada sua grande importância na definição do Sistema Aquífero Guarani e como rochas reservatórios do óleo produzido pelos folhelhos pirobetuminosos da Formação Irati. Antes da década de 1970, os arenitos mesozoicos da Bacia do Paraná no estado de São Paulo (exceto Grupo Bauru) eram considerados uma única unidade depositada em ambiente continental dominado por processos eólicos. Nesse contexto, o trabalho de Soares (1973) foi balizador por atribuir aos arenitos Piramboia o status de Formação, com base em características distintas entre esses arenitos e os arenitos Botucatu. Desde então, estudos com foco na mineralogia, petrologia, sedimentologia e faciologia da Formação Piramboia têm possibilitado uma nova visão e diferenciação dessa unidade geneticamente associada a ambiente eólico úmido com interação fluvio-eólica, diferentemente dos arenitos depositados em ambiente eólico seco da Formação Botucatu (Donatti et al., 2001; Assine et al., 2004; Gesicki, 2007).

A Formação Piramboia é uma unidade litoestratigráfica da Bacia do Paraná exposta de maneira contínua pelo estado de São Paulo até o sul do Paraná, com afloramentos ao longo de toda a Depressão Periférica Paulista. No estado de São Paulo, sua área de afloramentos constitui faixa de direção aproximada NNE-SSW, com largura variável desde cerca de 4 km, no sudoeste do estado, até o máximo de aproximadamente 130 km, no centro-leste paulista (Gesicki, 2007). Com espessura variável, seus depósitos chegam a atingir 270 m em seções aflorantes na região de São Pedro (Caetano-Chang, 1997).

Essa unidade teve sua seção tipo proposta por Soares (1975) ao longo da rodovia Marechal Rondon (SP-300), no estado de São Paulo. A Formação Piramboia é atualmente considerada de idade triássica, enquadrada nos paleodesertos úmidos pré-ruptura do Gondwana (Almeida et al., 2012). Na borda leste da Bacia do Paraná, a Formação Piramboia encontra-se sobreposta aos folhelhos e siltitos da Formação Corumbataí e sotoposta aos arenitos da Formação Botucatu, com ambos os contatos discordantes.

Com a evolução dos conhecimentos acerca dessa unidade, autores como Caetano-Chang e Wu (1992, 1993, 1995), Brighetti e Caetano-Chang (1995), Assine e Soares (1995) e Caetano-Chang (1997) apontaram dominância de fácies eólicas com fácies fluviais subordinadas. As fácies eólicas são relacionadas geneticamente com campos de dunas e interdunas úmidas (Assine et al., 2004), além de amplos lençóis de areia (Brighetti e Caetano-Chang, 1995). Por sua vez, as fácies fluviais são caracterizadas como arenitos finos a conglomeráticos que ocorrem intercalados lateral e verticalmente às fácies de dunas eólicas (Assine e Soares, 1995).

A descrição de fácies sedimentares e o estabelecimento de suas relações laterais e verticais são altamente favorecidos

pelo uso de amplos afloramentos que permitem visualizações 2D e 3D das características das rochas, a exemplo do que ocorre em frentes de lavras de grande extensão. De acordo com esse cenário, a coleta de dados faciológicos tornou altamente viável a revisão da análise de fácies e de associação de fácies das rochas da Formação Piramboia, de modo a possibilitar uma melhor compreensão dos processos sedimentares geradores das diferentes fácies expostas e dos ambientes sedimentares existentes na época da sedimentação dessa unidade na região de estudo.

ÁREA DE ESTUDO

O levantamento estratigráfico foi realizado no município de Descalvado, na área de concessão de lavra da Mineração Jundu. O município de Descalvado está situado na porção nordeste do estado de São Paulo (Figura 1), aproximadamente a 245 km da capital. A Mineração Jundu está localizada na rodovia Deputado Vicente Botta (SP-215) e dista aproximadamente 5 km do perímetro urbano da cidade de Descalvado.

Em termos geológicos, o município de Descalvado está inserido no flanco nordeste da Bacia do Paraná e apresenta exposições mesozoicas do Grupo São Bento e cenozoicas da Formação Santa Rita do Passa Quatro (Instituto Geológico, 1984). Na área de estudos, essa formação recobre em discordância a Formação Piramboia.

Os arenitos da Formação Piramboia expostos nas diversas frentes de lavra da Mineração Jundu constituem amplos afloramentos com grandes extensões vertical (média de 8 m cada bancada, totalizando aproximadamente 32 m) e horizontal (aproximadamente 800 m) (Figura 2).

CONTEXTO GEOLÓGICO

Arenitos mesozoicos da Bacia do Paraná – Breve histórico

As rochas sedimentares mesozoicas da Bacia do Paraná têm sido objeto de estudo desde o fim do século 19, quando Gonzaga de Campos (1889, apud Schneider et al., 1974) utilizou pela primeira vez o termo “Botucatu” para expressar toda unidade psamítica com estratificação cruzada de grande porte, sotoposta ou intercalada a derrames basálticos que ocorrem na Serra de Botucatu (Soares, 1973). Posteriormente, a expressão “Camadas Piramboia” foi introduzida por Pacheco (1927 apud Matos, 1995) para se referir a argilitos, siltitos e arenitos argilosos aflorantes nos arredores do município de Piramboia. O autor definiu como “Grez de Piramboia” a unidade exclusivamente arenosa que constituiria a porção inferior do Triássico no estado de São Paulo (Matos, 1995).



Figura 1. Localização da área de estudo (Google Earth, 2014).

Oliveira (1930, apud Cottas et al., 1986) defendeu que as características litológicas com que se pretendia distinguir o Arenito Piramboia do Arenito Botucatu não eram constantes e que essa diferenciação era desnecessária. No mesmo ano, Washburne (1930) sugeriu a separação dessa unidade em Camadas de Piramboia (estrato inferior, considerado subaquoso) e arenitos Botucatu (estrato superior, considerado eólico).

Posteriormente, Almeida e Barbosa (1953) chegaram a reconhecer o Arenito Piramboia como uma unidade essencialmente fluvial, assim como proposto por Washburne (1930), porém com menção de apenas poucos metros. Por sua vez, Bósio (1973) designou Formação Botucatu toda unidade

arenosa e a subdividiu em duas fácies: a inferior, Piramboia, composta de sedimentos predominantemente aquosos, e a superior, Botucatu, composta de arenitos eólicos.

Até então, muitos autores faziam uso de denominações como “fácies” ou “litotipo” para designar a unidade Piramboia, uma vez que toda a sequência pré-vulcânica mesozoica era considerada pertencente à Formação Botucatu. Foi somente na década de 1970 que toda essa seção foi caracterizada como duas unidades distintas por Soares (1973), denominada de “Formação Piramboia” a unidade essencialmente fluvial e “Formação Botucatu” a unidade essencialmente eólica, atribuindo, portanto, aos arenitos Piramboia o *status* de formação.

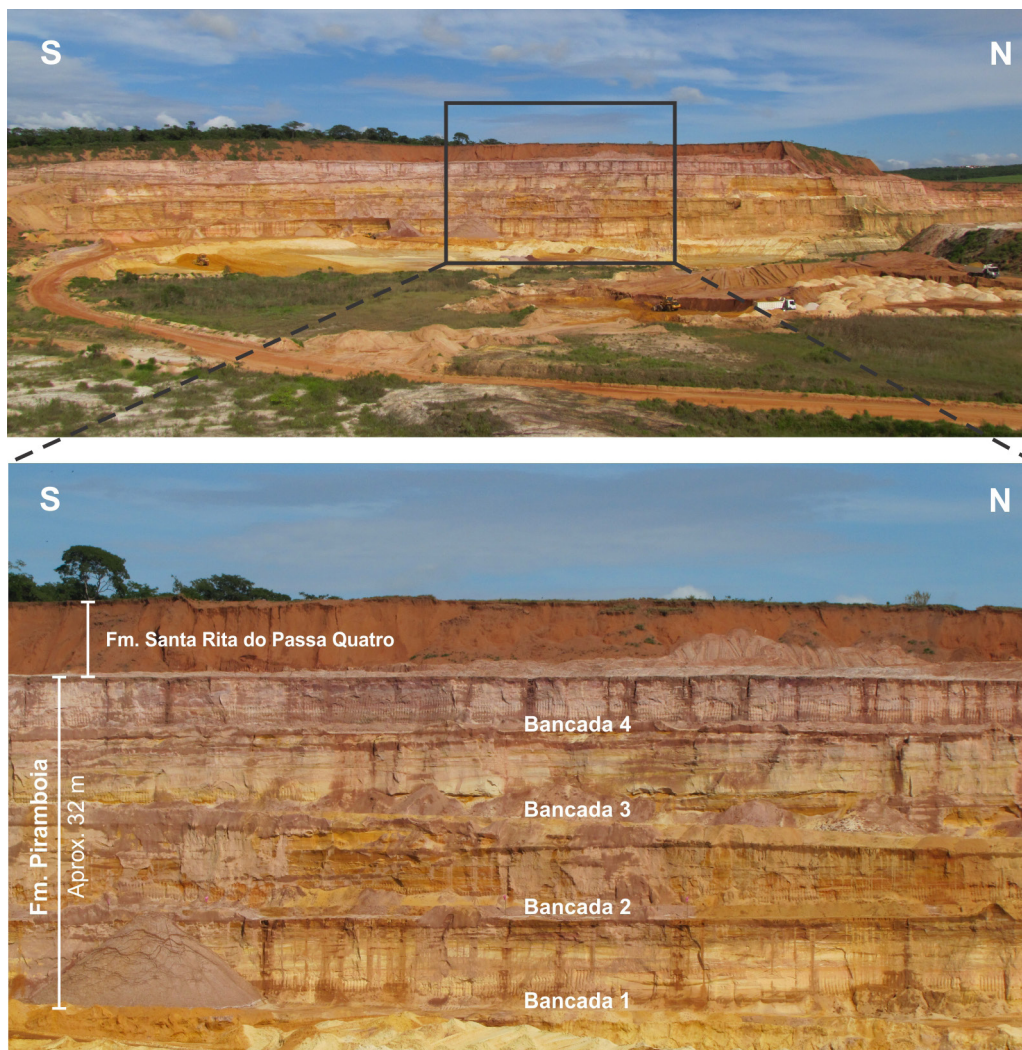


Figura 2. Vistas geral e detalhada das frentes de lavra da Mineração Jundu e das formações geológicas presentes (fotos: J. A. J. Perinotto, 2012).

Formação Pirambaia

Fácies

Na década de 1950, trabalhos realizados por Almeida e Barbosa (1953) e Almeida (1954) apontaram no Arenito Pirambaia a presença de arenitos finos a grossos, localmente seixosos e com pouca presença de finos. Soares (1973) descreveu para essa unidade um membro inferior, com predomínio de fácies argilosa com estratificações plano-paralela e cruzada acanalada de pequeno porte, e um membro superior, composto de bancos de arenitos pouco argilosos sucedidos por bancos de arenitos muito argilosos, lamitos e argilitos arenosos em repetição cíclica.

Para Schneider et al. (1974) e Lavina (1989), a Formação Pirambaia é constituída de uma sequência

composta de arenitos esbranquiçados, amarelados e avermelhados, médios e finos/muito finos, silto-argilosos, grãos polidos, subangulares e subarredondados com estratificações cruzadas planares a acanaladas de porte pequeno a grande. Esse pacote possui intercalações de finas camadas mais argilosas com estratificação plano-paralela.

De modo geral, duas fácies distintas foram reconhecidas por Assine e Soares (1995) para a Formação Pirambaia. A primeira é predominante e constituída por arenitos finos a médios, com estratificações cruzadas tangenciais na base e acanaladas, dispostos em sets de 0,5 a 5 m. A segunda, associada lateral e verticalmente à fácies anterior, é composta de arenitos finos a grossos, também conglomeráticos, com estratificações cruzadas tabulares e acanaladas, com granodecrescência ascendente.

Arenitos grossos e conglomeráticos mal selecionados, com estratificações cruzadas acanaladas de médio porte e posicionados na porção superior da Formação Piramboia foram denominados por Caetano-Chang e Wu (2006) de Arenitos Itirapina. Tais arenitos também foram identificados no trabalho de Assine e Soares (1995), porém posicionados de maneira mais significativa na metade superior da unidade.

Além dos Arenitos Itirapina, Caetano-Chang e Wu (2006) identificaram na Mineração Jundu depósitos subjacentes de arenitos finos a médios, bem selecionados, com grãos subangulares e subarredondados (menores) a bem arredondados (maiores), estratificação cruzada tangencial na base de médio porte composta de fácies de *foresets* de avalanche e de base de *foresets*, com bimodalidade distinta. Nesses depósitos, estão intercalados arenitos predominantemente finos, subordinadamente médios, com estratificação plano-paralela.

Paleoambiente deposicional

Apesar da interface entre sistemas deposicionais eólico e fluvial que historicamente foi atribuída aos arenitos mesozoicos da Bacia do Paraná, a Formação Piramboia sempre esteve associada a depósitos aquosos.

Bósio (1973) propôs origem fluvial para a unidade em questão, em que depósitos com estratificação cruzada seriam representativos de canal fluvial e aqueles com estratificação plano-paralela seriam de planície de inundação em um sistema fluvial do tipo entrelaçado. Soares (1973) concluiu que a deposição da Formação Piramboia ocorreu em sistema fluvial do tipo meandrante, justificando a repetição cíclica dos depósitos de canal e de transbordamento pela variação do nível base do canal em razão da subsidência e acreção vertical. Schneider et al. (1974) também indicaram origem fluvial com depósitos de rios meandantes, porém com participação de pequenas lagoas associadas, em condições climáticas com predomínio de processos químicos oxidantes.

Ao contrário do postulado até então, Lavina (1989) aventou a hipótese de modelo de sedimentação eólica para a Formação Piramboia com base na presença de arenitos finos com estratificações cruzadas de grande a médio porte, onde cada lâmina é muito bem selecionada. Nesse contexto, as fácies pelíticas representariam a acumulação de lamas por suspensão em lagoas temporárias. Fácies fluviais seriam representadas por conglomerados, arenitos muito grossos a grossos e arenitos médios e finos com grânulos ou intraclastos pelíticos, indicando atuação de correntes efêmeras durante os períodos de inundação.

As conclusões expostas por Lavina (1989) foram reavaliadas por Caetano-Chang et al. (1991) mediante caracterização genética das diferentes fácies descritas para a Formação Piramboia na região de São Pedro (SP). Os

autores descreveram a ocorrência de depósitos de dunas, lençóis de areia e interdunas estreitados por depósitos fluviais subordinados.

Arenitos finos a médios com estratificação cruzada tangencial e acanalada e arenitos finos a grossos (também conglomeráticos) descritos por Assine e Soares (1995) foram associados, respectivamente, a fácies de origem eólica e fácies geradas em canais fluviais. A ocorrência intercalada entre essas fácies reafirma a interação fluvio-eólica que esteve presente durante a deposição dos sedimentos que deram origem à Formação Piramboia (Assine et al., 2004).

Assine e Soares (1995) apontaram um cenário paleogeográfico composto de rios entrelaçados provindos do leste, avançando e dissipando em direção a oeste, onde o vento que retrabalhava as areias edificava grandes campos de dunas. A presença marcante de depósitos de interdunas úmidas é interpretada por esses autores como representantes de sistema eólico úmido, onde podem ter ocorrido lagoas.

Para Caetano-Chang e Wu (1995) e Caetano-Chang (1997), a sedimentação da Formação Piramboia é caracterizada pela deposição em múltiplos campos de dunas, sob condições de saturação em areias. Grande parte dos depósitos teria sua formação por agitação em interdunas úmidas, acompanhada por sedimentação eólica em dunas.

Os Arenitos Itirapina são interpretados como depósitos de leques aluviais que foram estabelecidos em áreas próximas à borda leste da bacia ao final da sedimentação da Formação Piramboia (Caetano-Chang e Wu, 2006). Em Itirapina e Descalvado, esses arenitos revelam a dominância de depósitos fluviais grossos intercalados de forma subordinada por depósitos de dunas, interdunas e lençóis de areia. Na Mineração Jundu, Caetano-Chang e Wu (2006) identificaram depósitos subjacentes de dunas eólicas (arenitos finos a médios bem selecionados) intercalados com interdunas (sabkha-interduna).

Assim como Assine e Soares (1995), Gesicki (2007) associa a deposição dos sedimentos da Formação Piramboia com o desenvolvimento de sistema eólico úmido. Segundo a autora, a Formação Piramboia é composta de associações de fácies eólicas (dunas, interdunas e raros lençóis de areia) sotopostas à associação subaquosa de canais e barras de rios entrelaçados, em que os primeiros teriam sido desenvolvidos em contexto costeiro marginal ao sistema marinho Passa Dois.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos de campo realizados na Mineração Jundu, em Descalvado (SP), envolveram o levantamento de três seções estratigráficas verticais compostas. A seção Jundu Norte é constituída pelo conjunto de três frentes de lavra, enquanto as seções Jundu Central e Jundu Sul são constituídas por

um conjunto de quatro frentes de lavra. O levantamento das seções estratigráficas verticais foi realizado com auxílio do caminhão munck ou caminhão guindaste, geralmente utilizado para carregamento, transporte e movimentação de máquinas e peças pesadas.

O levantamento das seções estratigráficas verticais objetivou principalmente a análise de fácies da Formação Piramboia. As diferentes fácies descritas foram analisadas e classificadas segundo o método de análise de fácies desenvolvido por Miall (1977, 1996), que consiste em uma codificação que expressa o tipo de rocha e uma característica marcante das fácies em questão.

Durante as atividades de campo, também foram obtidas fotos sequenciais das frentes de lavra que, posteriormente, foram processadas de modo a comporem grandes fotomontagens. Esse produto serviu como base para a análise de elementos arquitetônicos e de suas associações de fácies, de acordo com Miall (1985).

A perspectiva tridimensional proporcionada pelas fotomontagens visou à identificação de superfícies de descontinuidades físicas que subdividem a sucessão sedimentar em estratos geneticamente relacionados e hierarquicamente estruturados. Os elementos arquitetônicos e macroformas são fundamentais para a caracterização do depósito, uma vez que o arranjo lateral das fácies permite a determinação da forma dos corpos sedimentares gerados. Esse tipo de análise possibilitou complementar as informações obtidas pelo empilhamento vertical de fácies, caracterizada por sua perspectiva bidimensional.

A partir da análise de fácies sedimentares, da interpretação dos processos sedimentares envolvidos e do reconhecimento dos elementos arquitetônicos, foram identificadas fácies geneticamente relacionadas que compõem associações de fácies. A análise dessas associações é primordial para a correlação de determinada unidade sedimentar a um modelo de sistema deposicional, uma vez que a análise de fácies remete somente aos processos sedimentares que foram atuantes na época da deposição.

RESULTADOS

Análise de fácies

Por meio do levantamento das seções estratigráficas verticais Jundu Sul, com 34,3 m de espessura, Jundu Central, com 35 m de espessura e Jundu Norte, com 22,8 m de espessura (Figura 3), foram reconhecidas cinco principais fácies sedimentares (Tabela 1). Apesar disso, foi observada grande heterogeneidade no que diz respeito a aspectos como cor, granulação, seleção e arredondamento dos grãos.

Os arenitos são caracterizados por estratificações cruzadas acanaladas de porte centimétrico a métrico (fácies St), tanto assintótica quanto festonada, e, em menor proporção,

por estratificação plano-paralela (fácies Sh), estratos maciços (fácies Sm) e *ripples* (fácies Sr). Apesar da menor frequência de ocorrência, a fácies conglomerática possui boa representatividade (fácies Gt).

As fácies de finos são restringidas aos clastos de argila quase sempre ferricitizados, que ocorrem tanto associados a arenitos grossos quanto a finos, alguns dispersos e outros orientados segundo os *foresets*. De tamanhos variados, os clastos de argila de grandes dimensões chegam a constituir blocos decimétricos.

Fácies Gt

A fácies Gt, observada em todas as seções estudadas, é constituída por conglomerados com estratificação cruzada acanalada assintótica (Figura 4). Essa fácies constitui desde estratos delgados (aproximadamente 20 cm) a espessos (1 m), que, muitas vezes, estão intercalados aos arenitos (Figura 4A).

Os conglomerados da fácies St possuem cor amarelo-alaranjada ou marrom com tons róseos, com grânulos e seixos sustentados por arenito grosso a muito grosso e grãos finos e médios em menor proporção. São caracterizados por seixos de quartzo de tamanhos variados (de 1 a 5 cm), subarredondados e subangulosos, contidos nos *foresets* (Figuras 4B e C). Além disso, em alguns conglomerados foram descritos clastos de argila (ferricitizados ou não), prismáticos, de diferentes tamanhos (até 20 cm) contidos nos *foresets* ou sem orientação evidente e fragmentos de arenitos dos estratos sotopostos (fácies St e Sh) (Figura 4C).

Os conglomerados possuem contato notadamente erosivo com os estratos sotopostos, representados por arenitos com estratificação cruzada acanalada e plano-paralela (Figura 4D).

Em termos de processos, a fácies Gt pode ser resultado da migração de formas de leito representadas por dunas de crista sinuosa, quando o predomínio é de sedimentos grossos e seixosos. Comumente, corresponde à deposição nas porções de maior energia de um canal (tavelgue). Normalmente, a gradação observada nos conglomerados é produto da sedimentação por correntes que têm diminuída sua capacidade e competência pelo decréscimo gradual da velocidade.

Fácies St

A fácies St é constituída por arenitos com estratificação cruzada acanalada assintótica (Figura 5) ou festonada (Figura 6). De modo geral, constituem arenitos com ampla variação de cores (amarela/laranja/rosa-esbranquiçado), finos até muito grossos, bem a mal selecionados e com grau de arredondamento dos grãos bastante variado. Entretanto, são característicos aqueles de granulação média a grossa, mal selecionados, com grãos grossos a muito grossos, subarredondados a subangulosos (em sua maioria, os grãos maiores são arredondados a subarredondados; os menores são subarredondados

a subangulosos), por vezes bimodais (Figura 5A). Apesar de presente, matriz siltosa ou silto-argilosa ocorre com pouca frequência, resultando na grande friabilidade do estrato rochoso.

A presença de grânulos e seixos de quartzo subarredondados a subangulosos, com média de 2 a 3 cm e contidos nos *foresets* é abundante (Figura 5B), além de clastos de

argila (em sua maioria ferricitizados) de tamanhos variados, com os menores (3 a 4 cm) contidos nos *foresets* e blocos de argila (até aproximadamente 20 cm) dispersos pelo estrato (Figura 5C). No interior desses arenitos, é comum a presença de lentes de arenitos finos e/ou médios, bem selecionados e subarredondados.

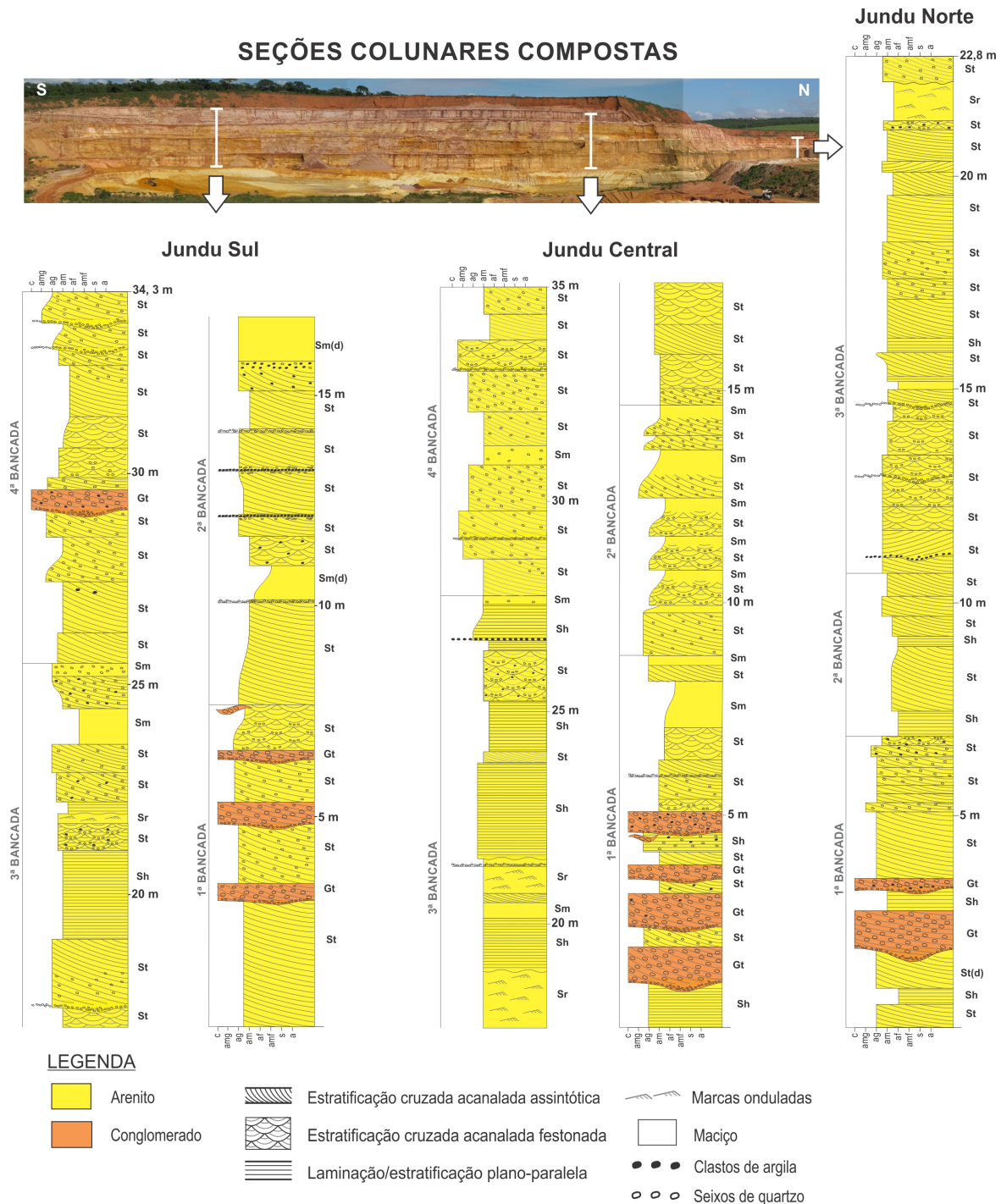
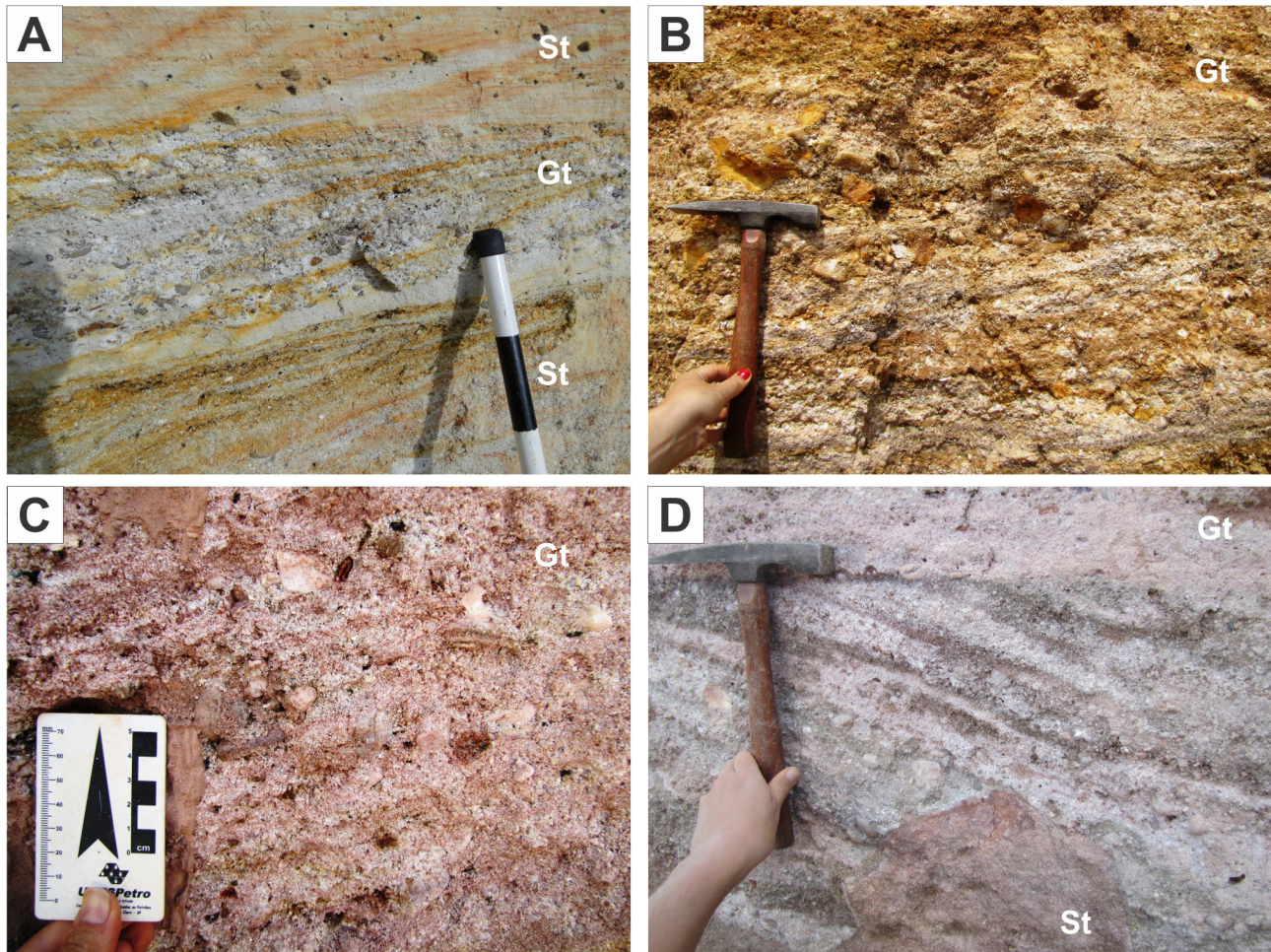


Figura 3. Seções estratigráficas verticais compostas de Jundu Sul, Central e Norte.

Tabela 1. Litofácies e estruturas sedimentares descritas para a Formação Piramboia na região de estudo (adaptado de Miall, 1977).

Código de fácies	Litofácies	Estruturas sedimentares
Gt	Conglomerado estratificado	Estratificação cruzada acanalada
St	Arenito fino a muito grosso, podendo ser seixoso	Estratificação cruzada acanalada (assintótica ou festonada)
Sh	Arenito fino a muito grosso, podendo ser seixoso	Laminação horizontal
Sm	Arenito muito fino a grosso, podendo ser seixoso	Maciço
Sr	Arenito muito fino a grosso	<i>Climbing Ripples</i> e ondulações

**Figura 4.** Conglomerados da fácies Gt. Essa fácies é representada tanto por estratos delgados (A) quanto espessos (B). Seixos de quartzo e clastos de argila distribuem-se nos foresets (C). O contato com as outras fácies é marcado por superfícies de erosão (D). Barra de escala (foto A) com divisão de 10 em 10 cm.

Foram observados desde *sets* centimétricos a decimétricos de estratificações cruzadas acanaladas assintóticas (Figura 5A), como *sets* decimétricos a métricos, com baixo ângulo do mergulho dos *foresets* (Figura 5D).

A estratificação cruzada acanalada na forma de festões ocorre em menor proporção que a acanalada assintótica.

Geralmente, ocorrem na forma de grandes cunhas (porte decimétrico a métrico) evidenciadas pela variação da cor dos estratos (Figura 6A) e que podem compor conjuntos de *sets* delgados e espessos. Foram descritos estratos com seixos e grânulos de quartzo dispostos nos *foresets* (Figura 6B), com ou sem clastos de argila.

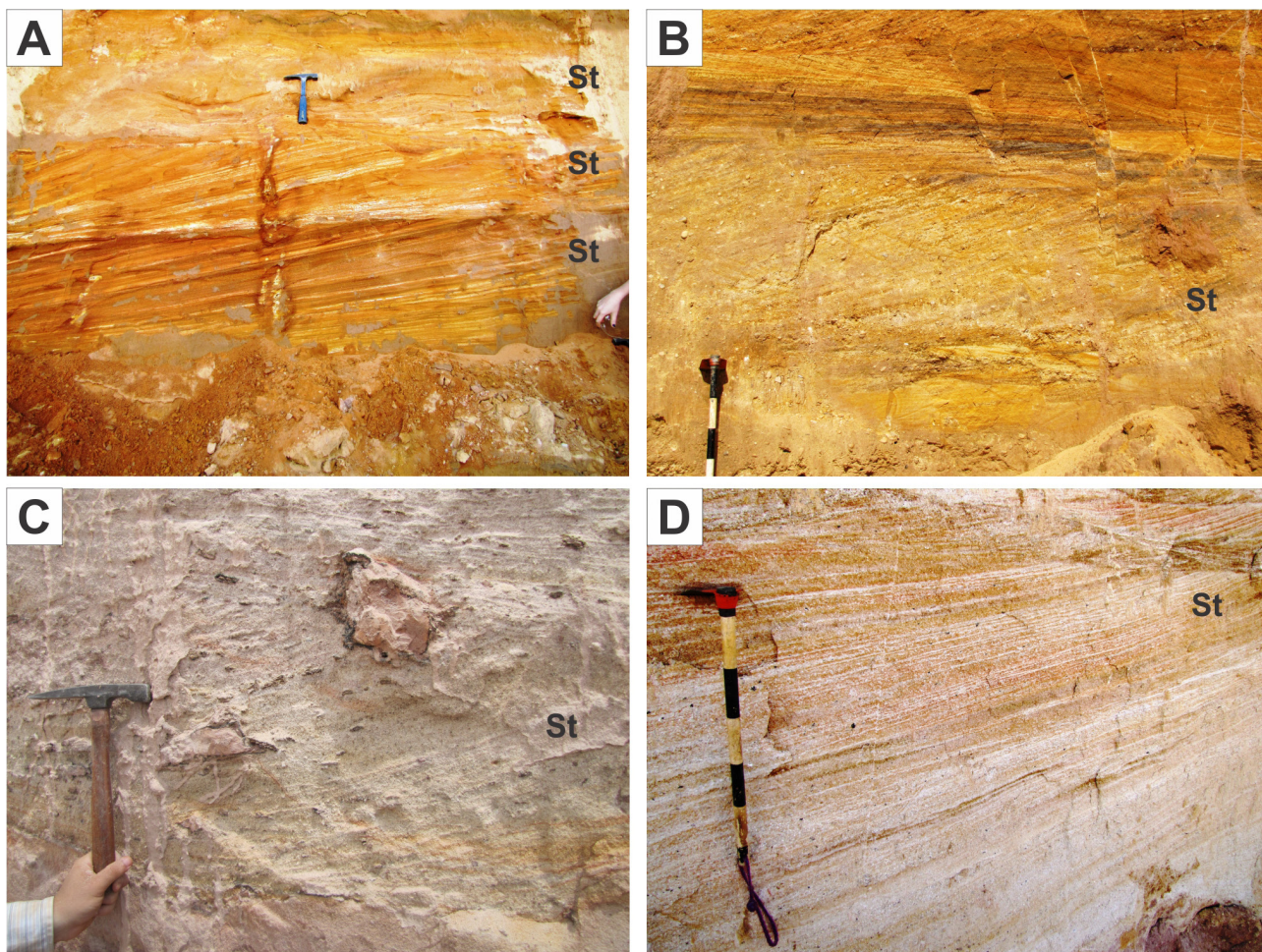


Figura 5. Arenitos da fácies St assintótica. Cosets de fácies St com granulação bem selecionada, sem seixos (A). Estratos com seixos de quartzo, muitas vezes contidos nos foresets (B) e com clastos de argila, contidos nestes ou discordantes (C). Set com estratificação cruzada acanalada de grande porte (D). Barra de escala (fotos B e D) com divisão de 10 em 10 cm.

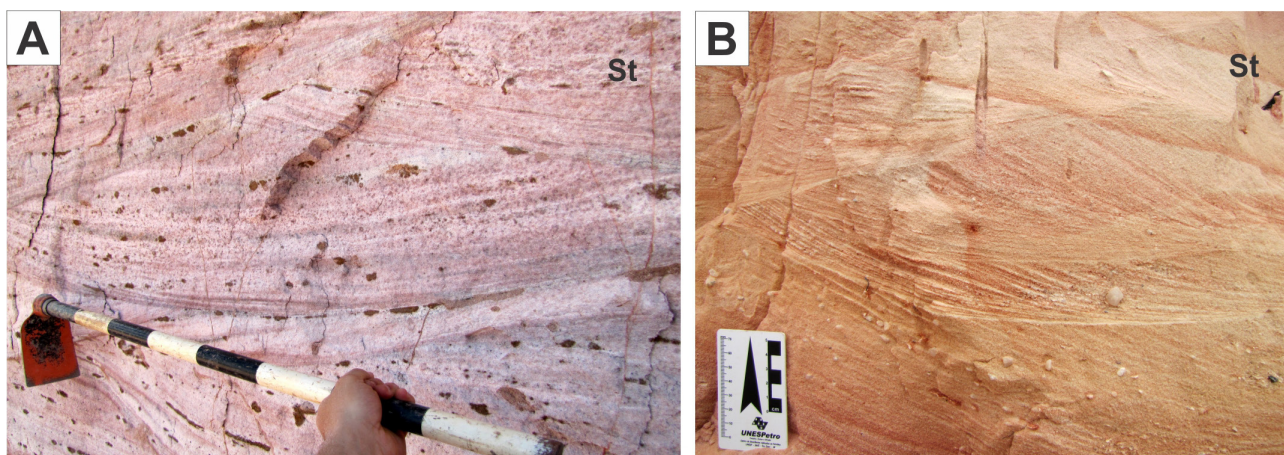


Figura 6. Arenitos da fácies St festonada. Festões evidenciados pela variação de cor (tonalidades) dos estratos (A) e presença de seixos de quartzo contidos nos foresets (B). Barra de escala (foto A) com divisão de 10 em 10 cm.

Em termos de processos, a fácies St pode resultar da migração de formas de leito em fluxo unidirecional, sob regime de fluxo inferior. A migração dessas formas de leito resulta do transporte de areia, com os grãos maiores transportados por arrasto e rolamento e, os menores, por saltação. Com velocidade de fluxo ligeiramente superior àquela necessária para formação de marcas onduladas, ocorre a formação de dunas que, no caso da fácies St, corresponde a dunas tridimensionais ou de crista sinuosa.

Fácies Sh

A fácies Sh compreende arenitos com estratificação plano-paralela horizontal (Figura 7), evidenciada pela variação na cor dos estratos, com cores amarelo-alaranjadas e amarelo-claras, roxas, laranja-avermelhado ou rosa-esbranquiçado e rosa-escuro. Na maioria das vezes, constituem espessos estratos de até 2,20 m.

A fácies Sh é caracterizada principalmente por arenitos finos a médios, seguidos por arenitos grossos e grossos a muito grossos. São geralmente mal selecionados, com grãos subarredondados a subangulosos ou subarredondados a arredondados, com matriz argilosa (cor mais escura) (Figuras 7A e B) ou sem matriz (Figura 7C). Apesar de a fácies Sh constituir estratos relativamente homogêneos e sem grandes variações, foram observados estratos com seixos de quartzo de até 2 cm (Figura 7D) e clastos de argila entre os estratos da estratificação plano-paralela.

A estratificação plano-paralela é atribuída à forma de leito plana, formada sob condições de alta energia em regime de fluxo superior, com o fluxo unidirecional. A formação de estratos de leito plano é resultante do transporte de areia por arrasto, especificamente quando a velocidade do fluxo atinge um valor crítico. O transporte de seixos entre as formas de leito planas pode dar origem a lineações de corrente, onde geralmente é possível reconhecer a orientação preferencial das partículas.

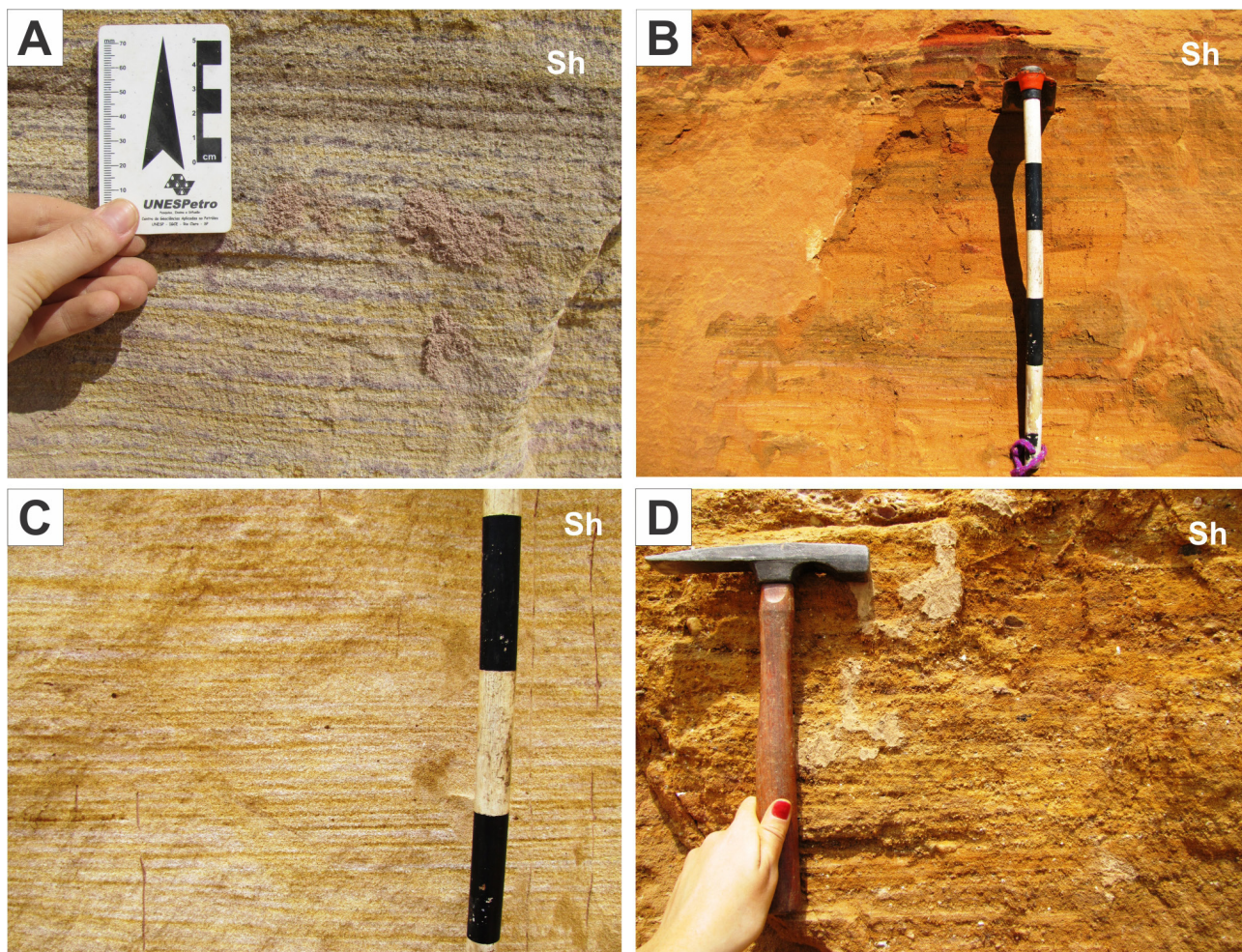


Figura 7. Arenitos da fácies Sh. Estratificação plano-paralela evidenciada pelas cores dos estratos que adquirem tonalidades mais escuras quando há considerável quantidade de matriz (A e B) e tonalidades claras sem matriz (C). Estrato com seixos de quartzo contidos na estratificação (D). Barra de escala (fotos B e C) com divisão de 10 em 10 cm.

Fácies Sm

A fácies Sm é caracterizada por arenitos maciços (Figura 8) que, na área de estudos, ocorrem em menor proporção que as fácies St e Sh. É constituída por arenitos marrom-arroxeados a marrom-avermelhados principalmente finos a médios, seguidos por arenitos muito finos e grossos, mal selecionados, com grãos subarredondados (Figura 8A) e raros seixos de quartzo subangulosos a subarredondados

dispersos. Diferentemente das outras, essa fácies é caracterizada pela abundância de matriz argilosa ou silto-argilosa que, em combinação com Fe presente, confere tonalidades escuras ao estrato.

Arenitos com a estratificação original obliterada possuem aspecto maciço com algumas feições de deformação plástica (convolução), tendo sido diferenciados dos arenitos maciços propriamente ditos pela simbologia de fácies Sm(d) (Figura 8B).

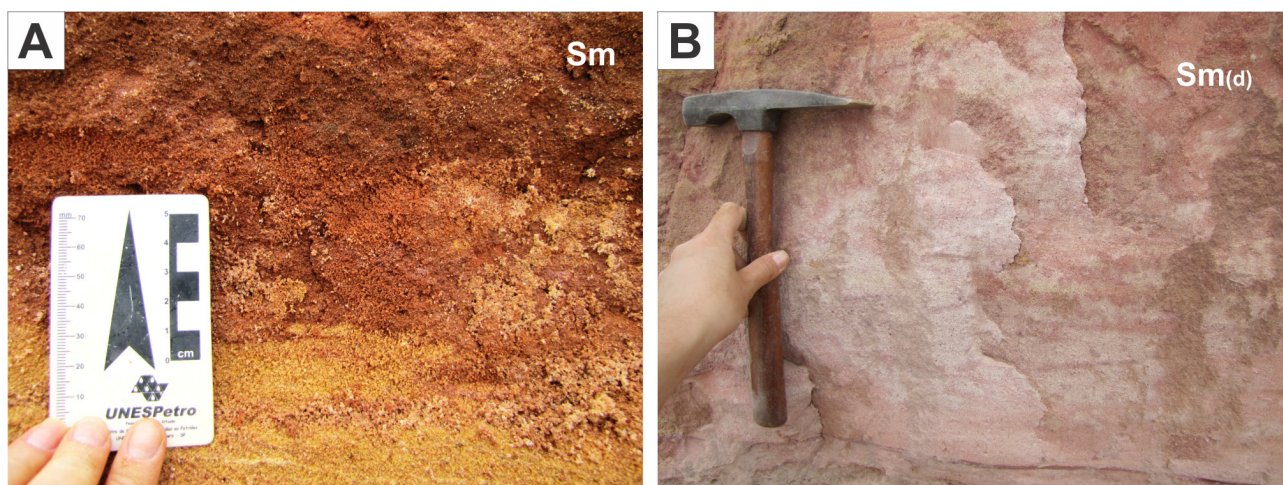


Figura 8. Arenitos da fácies Sm. Geralmente marrom-arroxeados a marrom-avermelhados (A), caracterizados pela ausência de estrutura sedimentar ou com deformação plástica desta (B).

A fácies Sm é interpretada como produto da deposição rápida de dispersões sedimentares altamente concentradas, por meio de correntes de turbidez ou fluxos gravitacionais fluidificados. A partir do estudo da origem de arenitos maciços em sistemas fluviais, Martin e Turner (1998) apresentaram dois principais mecanismos para sua formação: aqueles relacionados a mecanismos de deposição primária e aqueles relacionados a mecanismos de deposição secundária.

O mecanismo de deposição primária envolve a adição de sedimentos de suspensão por meio da erosão do solo em áreas com cobertura de vegetação limitada, dando origem a fluxos hiperconcentrados com sedimentos de carga suspensa. Segundo os mesmos autores, os mecanismos de deposição secundária consistem em liquefação e fluidização *in situ* ou fluxos de massa. O primeiro pode ser responsável pela deformação em arenitos inconsolidados, que resultam em estratos aparentemente maciços que podem apresentar feições plásticas de deformação (fácies Sm_(d)). Por sua vez, os fluxos de massa podem ser resultantes do

colapso de bordas de canais ou de barras de interior de canal, capazes de iniciar correntes de sedimentos que se movem através e ao longo de canais fluviais.

Fácies Sr

Apesar de presente em todas as seções estratigráficas verticais, a fácies Sr é de ocorrência restrita. É constituída por arenitos com acamamento ondulado com suaves *climbing ripples*, de granulação fina a média, mal selecionados, com grãos subarredondados e matriz argilosa. Em todas as exposições, a fácies Sr apresenta ondulações bem suaves, geralmente marcadas pela variação de cor dos estratos (Figuras 9A e B).

A fácies Sr é formada a partir de formas de leito desenvolvidas pela baixa velocidade do fluxo, em regime de fluxo inferior. As marcas onduladas são formadas na interface água-sedimento, em condições que se aproximam do regime de fluxo laminar em sedimentos transportados principalmente por tração, com desaceleração do fluxo.

Associação de fácies

Para a análise dos elementos arquitetônicos e das associações de fácies que os compõem, foram confeccionadas três fotomontagens: uma da região sul (Figura 10A), uma da região norte (Figura 10B) e outra da região central da Mineração Jundu (Figura 11). Dos elementos arquitetônicos

propostos por Miall (1985), os que melhor caracterizam a arquitetura deposicional da Formação Piramboia na região de estudo são a macroforma de acresção vertical (FM), lençóis laminados (LS) e forma de leito arenosa (SB). Formas de leito do tipo Barras Conglomeráticas (GB) e Canal (CH) foram identificadas localmente e em menor proporção (Figura 12).

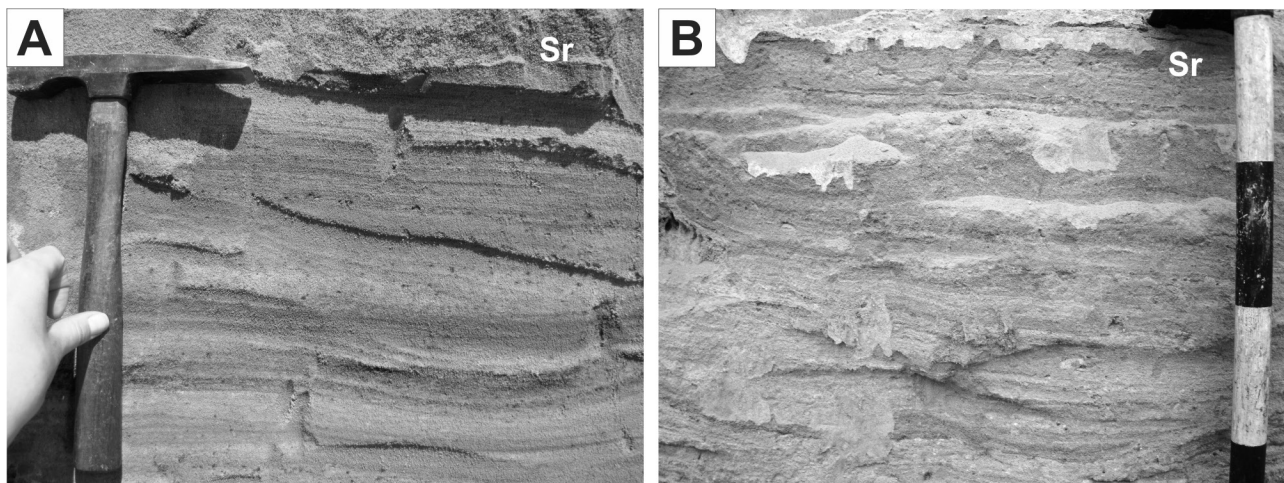


Figura 9. Arenitos da fácies Sr. *Climbing ripples* e ondulações suaves de pequena amplitude (A e B). Barra de escala (foto B) com divisão de 10 em 10 cm.

Com base nos elementos arquitetônicos reconhecidos nas fotomontagens e na análise de fácies, foram reconhecidas três associações de fácies principais: complexos de barras de canal, que podem ser subdivididos em forma de leito arenosa (SB), depósitos de acresção vertical (FM) e forma de leito do tipo barra conglomerática (GB), depósitos de enchentes, representados pelos lençóis de areia laminados (LS), depósitos de fluxo gravitacionais e depósitos eólicos.

Complexos de barra de canal

Forma de leito arenosa (SB)

A forma de leito arenosa é composta predominantemente de arenitos com estratificação cruzada acanalada festonada e assintótica (fácies St), arenitos com laminação ondulada e *climbing ripples* (fácies Sr) e raros arenitos com estratificação plano-paralela (fácies Sh). Essas fácies ocorrem associadas de modo a compor campos de megaondulações ou dunas de crista sinuosa, que representam a migração da forma de leito à jusante do canal. Nas fotomontagens, é possível observar uma sobreposição das litofácies que formam um grande complexo de barras de interior de canal compostas.

A ocorrência frequente desse elemento na arquitetura deposicional da Formação Piramboia pode indicar que, na época da sedimentação dessa unidade na região de estudos, houve predomínio de rios com abundância de sedimentos arenosos com a formação de barras de interior de canal.

Depósitos de acresção vertical (FM)

Os depósitos de acresção vertical são compostos de arenitos com estratificação cruzada assintótica (fácies St) e, em menor proporção, arenitos com estratificação cruzada tabular (fácies Sp, identificada localmente), arenitos com laminação ondulada e *climbing ripples* (fácies Sr) e raros arenitos com estratificação plano-paralela (fácies Sh). Essa associação compõe os complexos de barras de interior de canal, caracterizados pela migração de dunas superpostas no dorso e na face frontal da forma de leito principal (Bristow, 1987, 1993), que migram a favor do fluxo.

Esse elemento é caracterizado por *cosets* de formas de leito formadas sob regime de fluxo inferior, dinamicamente relacionadas umas às outras por superfícies hierárquicas internas de primeira e segunda ordens. A macroforma de acresção vertical revela forma de barras de interior de canal comparável em altura e largura com o canal no qual

se formou, podendo atingir alturas entre 1 e 15 m (Miall, 1996). Assim sendo, a existência de apenas um *set* suscita

a hipótese de que os sedimentos que estavam sobrepostos não foram preservados no registro geológico.

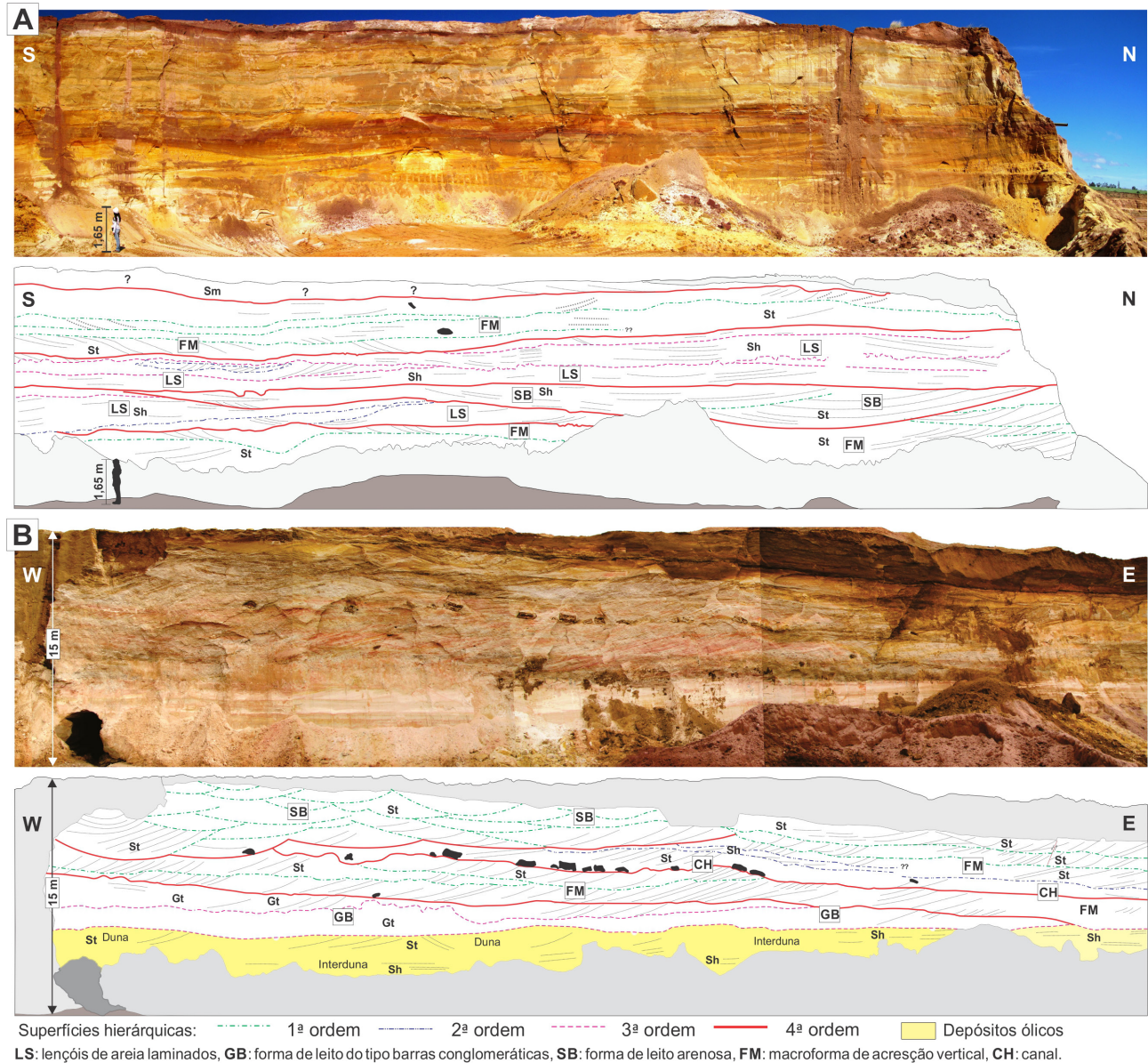


Figura 10. Fotomontagens das regiões sul (A) e norte (B) da Mineração Jundu, com interpretação das superfícies limítrofes e dos elementos arquitetônicos.

Forma de leito do tipo barra conglomerática (GB)

A forma de leito do tipo barra conglomerática é composta predominantemente de conglomerados com estratificação cruzada acanalada (fácies Gt) que representa a migração das barras transversais com linhas de crista curvas ou preenchimento de pequenos canais (Miall, 1985).

As barras transversais conglomeráticas podem ser formadas pelos mesmos processos responsáveis pela formação de barras arenosas (avanço de dunas de crista sinuosa),

com o diferencial do tipo da carga sedimentar. São seixos quartzosos de diversos tamanhos e graus de arredondamento, sustentados por areia grossa a muito grossa e mal selecionada. Além disso, são observados fragmentos rochosos prismáticos de arenitos finos a médios, geralmente bem selecionados, e pequenas lentes de arenito fino. Os fragmentos rochosos foram erodidos de estratos parcialmente litificados, indicando fluxo de alta energia e alta descarga de sedimentos. Por sua vez, as lentes de arenitos podem corresponder a depósitos de areia em pequenos canais entre os mais grossos (conglomerados).

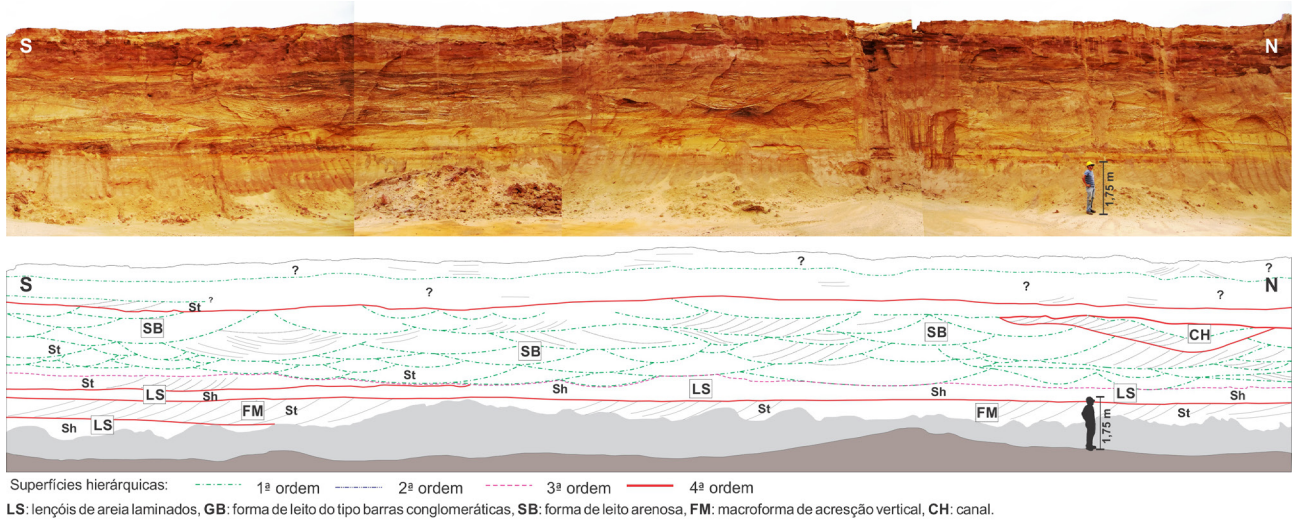


Figura 11. Fotomosaico da região central da Mineração Jundu, com interpretação das superfícies limítrofes e dos elementos arquitetônicos.

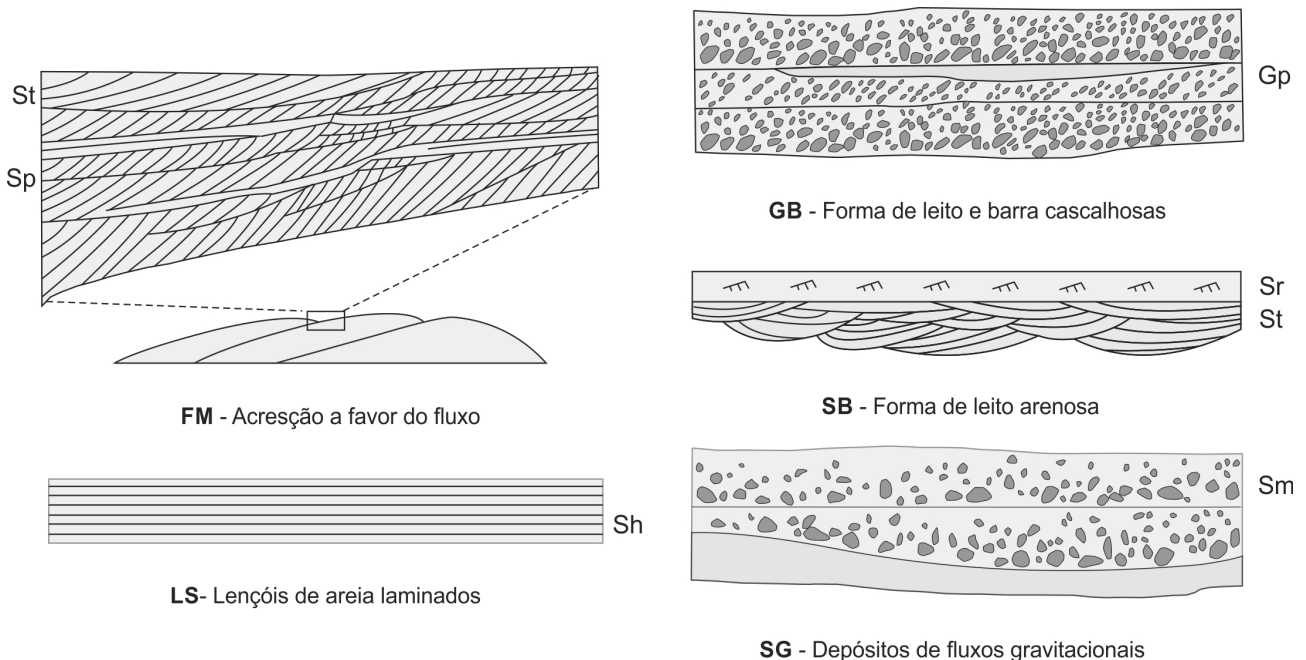


Figura 12. Elementos arquitetônicos identificados nas fotomontagens (adaptado de Miall, 1985).

Portanto, as formas de leito conglomeráticas podem corresponder a um conjunto de dunas de crista sinuosa depositadas em porções de alta energia do canal fluvial (como talvegue, por exemplo) que formam barras conglomeráticas ou preenchem canais fluviais menores.

Depósitos de enchentes

Lençóis de areia laminados (LS)

Os lençóis de areia laminados são compostos predominantemente de arenitos com estratificação plano-paralela (fácies

Sh) e raros arenitos com estratificação cruzada acanalada assintótica (fácies St).

A intercalação dos lençóis de areia laminados com os demais elementos sugere episódios periódicos de alta energia que interromperam a migração das dunas tridimensionais (ou de crista sinuosa). Assim sendo, esse elemento arquitetônico foi interpretado como produto de enchentes que depositaram areia sob condições de alta energia (regime de fluxo superior a crítico), dando origem a formas de leito plano. Esses episódios de inundação podem ter tido curta duração, resultando em delgados lençóis, ou longa duração, resultando em camadas mais espessas.

Depósitos de fluxos hiperconcentrados

Dos elementos descritos por Miall (1985), os depósitos de fluxos hiperconcentrados ou gravitacionais podem ser representados pelo elemento arquitetônico SG, apesar de a associação de fácies típica englobar fácies conglomeráticas (Gm, Gms) (Miall, 1985). Embora não tenham sido reconhecidos nas fotomontagens elementos arquitetônicos que caracterizem depósitos de fluxos hiperconcentrados ou gravitacionais, essa associação de fácies será aqui considerada dada a presença, nas três seções estratigráficas verticais, de arenitos maciços (fácies Sm). Nesse contexto, os depósitos de fluxos hiperconcentrados são representados predominantemente pelos estratos de arenitos maciços (fácies Sm).

Martin e Turner (1998) identificaram dois elementos arquitetônicos compostos de corpos de arenitos maciços que podem estar intercalados com depósitos de barras de interior de canal. Esses elementos são denominados *channel-like* e *sheet-like*, ambos gerados a partir da mistura altamente concentrada de sedimento/água. Segundo os autores, corpos de arenitos maciços *channel-like* são produtos de fluxos gravitacionais subaquosos e de incisão de barras de interior de canal que podem estar preservados na porção superior de barras. Por sua vez, os corpos de arenitos maciços do tipo *sheet-like* são interpretados como o resultado de sedimentação de fundo de canal durante eventos com picos de descarga do fluxo, como enchentes.

Na coluna composta Jundu Central, são observados ciclos de granodecrescência ascendente em que arenitos grossos a muito grossos, com estratificação cruzada acanalada, gradam para arenitos finos e médios com estrutura maciça. Esse fenômeno indica uma associação entre as fácies St e Sm, que podem estar relacionadas a ciclos de avanço de dunas de cristas sinuosas e que foram, gradativamente, dominadas por fluxos fluidificados concentrados com deposição rápida de sedimentos. Esses corpos de arenitos maciços sobrepostos a barras de interior de canal são interpretados como do tipo *channel-like*. Corpos de arenitos maciços do tipo *sheet-like* podem estar presentes próximos aos depósitos de enchentes (representado predominantemente pela fácies Sh).

Depósitos eólicos

Os depósitos eólicos foram raramente reconhecidos nas seções estratigráficas verticais estudadas. São constituídos por associação de fácies de dunas e de interdunas, com o primeiro composto predominantemente pela fácies St e o segundo pela fácies Sh (Figura 13). A associação de fácies de dunas eólicas é distinguida dos complexos de barras de canal (também constituída predominantemente pela fácies St) pelos arenitos médios e grossos, rosa-esbranquiçados, bem selecionados, grãos arredondados, sem matriz e com estratificação cruzada acanalada de porte decamétrico.

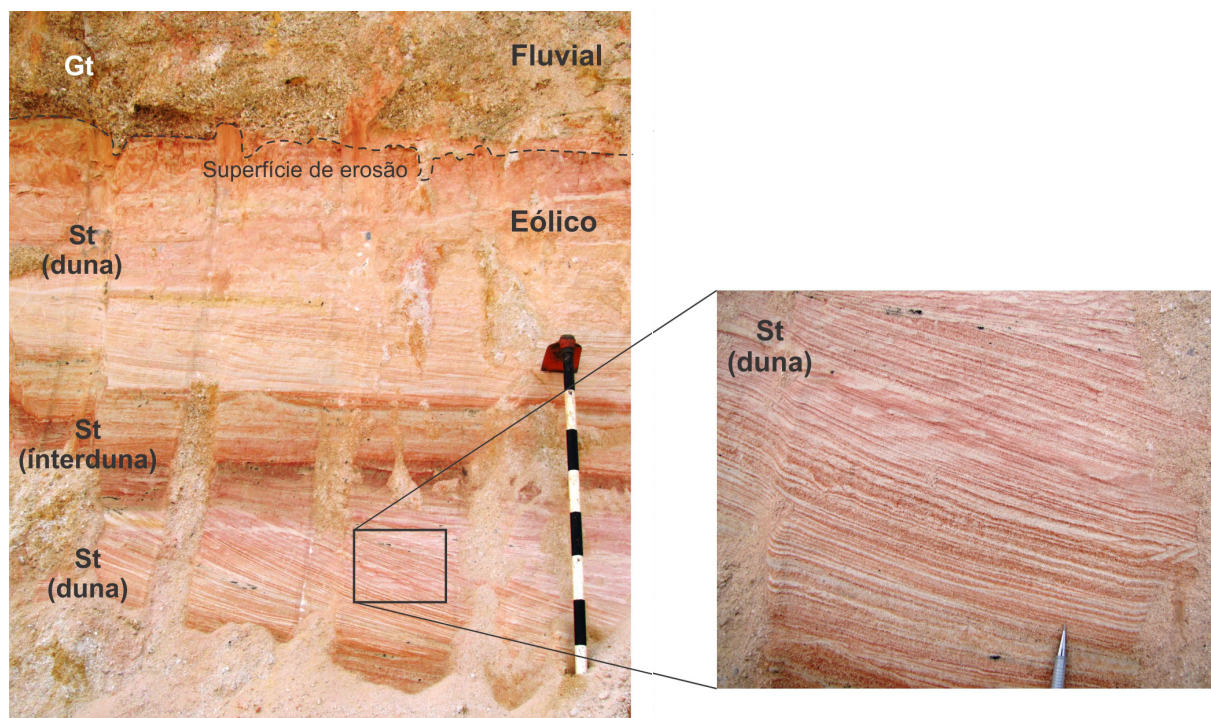


Figura 13. Depósitos eólicos (dunas e interdunas) em contato com fácies fluvial, marcado por superfície de erosão. Na foto de detalhe, foresets (ou partes frontais) das dunas eólicas. Barra de escala com divisão de 10 em 10 cm.

A associação de fácies de interdunas é composta de arenitos finos com grãos médios, rosa-amarelados, bem selecionados, grãos subarredondados, pouca matriz siltosa, com laminação plano-paralela, distinguidos de depósitos de lençóis de areia laminados por ocorrerem associados a depósitos de dunas eólicas. Na seção estratigráfica vertical Jundu Norte, o contato entre os depósitos eólicos (sotopostos) e depósitos grossos de formas de leito ou barras conglomeráticas (GB) é evidenciado por superfície de erosão.

Prováveis depósitos de dunas eólicas também ocorrem nas regiões Sul e Central da Mineração Jundu, expressas por pavimentos de seixos de quartzo contínuos lateralmente que, possivelmente, correspondem a produtos de deflação eólica.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Fácies fluviais subordinadas a depósitos de origem eólica na Formação Piramboia foram descritas por autores como Lavina (1989), Caetano-Chang et al. (1991), Caetano-Chang e Wu (1992, 1993, 1994, 1995), Caetano-Chang (1997), Assine e Soares (1995) e Assine et al. (2004). A sedimentação eólica é expressa por associação de depósitos de dunas, interdunas e lençóis de areia entremeados por depósitos fluviais subordinados (Caetano-Chang et al., 1991; Caetano-Chang e Wu, 1995).

Arenitos grossos a conglomeráticos da Formação Piramboia foram estudados por Caetano-Chang e Wu (2006) e formalizados como arenitos Itirapina. Esses arenitos ocorrem em Descalvado, próximo ao contato com a Formação Botucatu, e refletem a sedimentação em ambientes de leque aluvial de borda de deserto. O retrabalhamento contínuo de depósitos de barras de rios entrelaçados pelo vento originou relações complexas de diferentes fácies eólicas e de barras fluviais (Caetano-Chang e Wu, 2006). Esses leques aluviais teriam se estabelecido em consequência de mudanças tectônicas na área fonte, ocorrendo, assim, alterações substanciais no suprimento detrítico à bacia (Caetano-Chang e Wu, 1995).

A análise das fácies sedimentares da área de estudo remete ao predomínio de processos sedimentares com tipo de transporte e deposição de carga de fundo tipicamente fluvial. Ademais, a interpretação da arquitetura deposicional permitiu identificar os principais elementos contidos em canal fluvial. As associações de fácies arenosas e conglomeráticas que caracterizam os referidos elementos refletem o predomínio de complexos de barras de interior de canal (Figura 14) e, em menor proporção, depósitos de enchentes do canal fluvial e depósitos de fluxos hiperconcentrados ou gravitacionais. Além disso, foram observados pequenos canais contidos no canal fluvial principal.

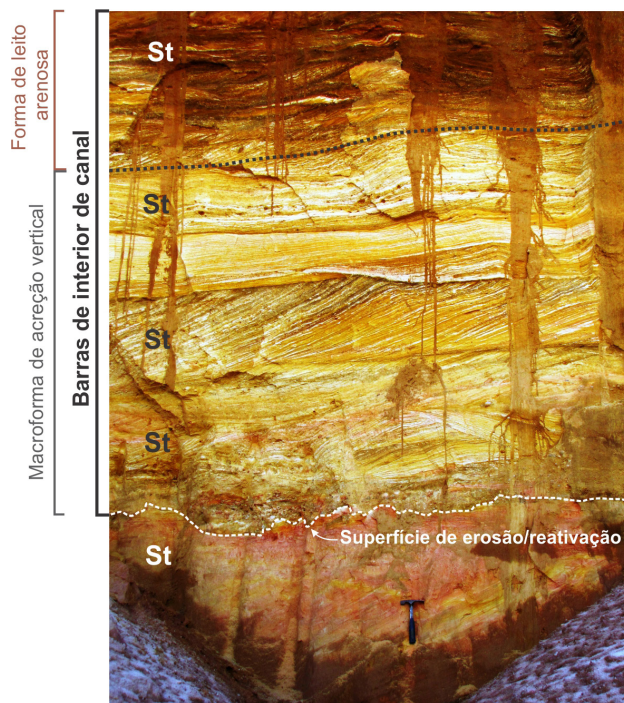


Figura 14. As barras de interior de canal são predominantes, principalmente aquelas constituídas pela forma de leito arenosa (SB) e macroforma de acreção vertical (FM).

A interpretação do paleoambiente deposicional composto essencialmente de rios meandantes proposta por Soares (1973) para a Formação Piramboia é aqui descartada dada a falta de ocorrência de fácies de sedimentos finos na sequência sedimentar da unidade na região de estudo, além de rara ocorrência de elementos arquitetônicos e de associações de fácies que caracterizam esse tipo de canal, indicando baixas sinuosidade e taxa de migração lateral do canal.

A abundância de arenitos médios a muito grossos mal selecionados, a ocorrência de conglomerados, a presença de intervalos com clastos centimétricos de argila e a falta de ocorrência de fácies de sedimentos finos remetem a canal fluvial altamente dinâmico (capaz de erodir os poucos depósitos pelíticos com os pulsos de descargas seguintes), com alto suprimento sedimentar (essencialmente arenoso e cascalhoso) e com planície de inundação pouco desenvolvida. Portanto, os rios que deram origem aos sedimentos da Formação Piramboia na região de estudo são interpretados como rios entrelaçados.

O predomínio da fácies St nos afloramentos da Mineração Jundu permite inferir o domínio de processos sedimentares geradores de dunas subaquosas de crista sinuosa ou tridimensionais que, ao migrarem, formaram barras lobadas ou linguoides de meio de canal. Essas barras foram formadas à medida que a correnteza foi deixando o material

de frações granulométricas que não podia mais transportar, dando origem a “ilhas arenosas” e na bifurcação do curso do rio. Essa interpretação é reafirmada pela abundante identificação de macroformas de acreção vertical (FM) e de forma de leito arenosa (SB), sendo esses dois elementos aqueles formadores de barras arenosas de meio de canal de rios entrelaçados ou rios de carga de fundo (Schumm, 1972). Adicionalmente, as raras ocorrências de depósitos de acreção lateral e de finos de planície de inundação indicam, respectivamente, canal fluvial com baixo grau de sinuosidade e com planície de inundação pouco desenvolvida.

Dadas as dimensões restritas dos afloramentos para tal análise, a geometria do canal principal não foi reconhecida. Rios entrelaçados modernos atingem mais de 9 km de largura do canal, compostos de inúmeros talwegues, a exemplo do rio Brahmaputra, na Índia. Apesar disso, foram identificados depósitos de arraste de canal expressos por grandes clastos argilosos ferricitizados orientados, que, provavelmente, marcam a base de um dos talwegues dentro do canal fluvial principal. Segundo Caetano-Chang e Wu (2006), os clastos de argila que ocorrem na área de estudo também podem marcar o contato de arenitos eólicos e fluviais, por meio de uma superfície de erosão que pode marcar a interrupção da sedimentação fluvial e a erosão desses depósitos.

Como citado, a Formação Piramboia tem sido considerada produto da sedimentação em ambiente eólico úmido, com sedimentação fluvial subordinada. De fato, a coexistência de fácies de barras de canal, dunas e interdunas na região de estudos expressa a íntima interação entre ambientes de deserto e fluvial entrelaçado que tradicionalmente caracterizam o registro sedimentar da Formação Piramboia. Processos eólicos também são expressos na região por superfícies de deflação eólica, com níveis contínuos de seixos de quartzo e, possivelmente, pelo retrabalhamento dos depósitos fluviais.

Os dados coletados neste trabalho permitem inferir que o ambiente deposicional da Formação Piramboia na área de estudo era constituído predominantemente por canais fluviais entrelaçados, com depósitos eólicos subordinados. As fácies de origem fluvial aqui descritas correspondem à entidade individualizada por Caetano-Chang e Wu (2006), denominada Arenito Itirapina, restrito à borda leste da Bacia do Paraná.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Formação de Recursos Humanos em Geociências e Ciências Ambientais Aplicadas ao Petróleo – PRH 05/Unesp, ao PFRH/Petrobras e ao PRH/ANP – Finep/MCT pelo apoio acadêmico e

financeiro, à Mineração Jundu S. A por conceder toda a infraestrutura necessária, apoio logístico e autorização para publicação deste artigo, aos professores Dra. Maria Rita Caetano-Chang e Dr. Joel Carneiro de Castro (DGA/IGCE/Unesp-RC) pelas sugestões e correções quando da realização da defesa do trabalho de conclusão de curso da primeira autora, ao professor Dr. Mario Luis Assine pelas sugestões relativas às interpretações dos resultados e a Murilo dos Santos Amaral, Isabela Tomazella Franzini, Rodrigo Irineu Cerri, Dimitri Ilich Kerbaudy Veloso e ao técnico Alan de Oliveira pelo auxílio durante as atividades de campo.

REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M. (1954). Botucatu, um deserto triássico da América do Sul. *DNPM Notas Preliminares e Estudos*, 86(9), 1-21.
- Almeida, F. F. M., Barbosa, O. (1953). Geologia das quadrículas Piracicaba e Rio Claro, estado de São Paulo. *Boletim DGM/DNPM*, 143, 1-96.
- Almeida, F. M. A., Assine, M. L., Carneiro, C. D. R. (2012). A megadesertificação mesozoica. In: Y. Hasui, C. D. R. Carneiro, F. F. M. Almeida, A. Bartorelli (Eds.). *Geologia do Brasil* (p. 419-428). São Paulo: Beca.
- Assine, M. L., Soares, P. C. (1995). Interação flúvio-eólica na Formação Pirambóia. *4 Simpósio de Geologia do Sudeste*, Boletim Resumos, 65. Águas de São Pedro: SBG.
- Assine, M. L., Piranha, J. L., Carneiro, C. D. R. (2004). Os paleodesertos Pirambóia e Botucatu. In: V. M. Neto, A. Bartorelli, C. D. Carneiro, B. B. Brito-Neves (Coords.). *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida* (p. 77-92). São Paulo: Beca.
- Bósio, N. J. (1973). *Geologia da área de São Pedro, SP*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro – Unesp.
- Brighetti, J. M. P., Caetano-Chang, M. R. (1995). Fácies e dunas e lençóis de areia em sedimentos da Formação Pirambóia na região de Rio Claro – SP. *4 Simpósio de Geologia do Sudeste*, Boletim Resumos, 67. Águas de São Pedro: SBG.
- Bristow, C. S. (1987). Brahmaputra river: channel migration and deposition. In: F. G. Ethridge, R. M. Flores, M. D. Harvey (Eds.). Recent developments in fluvial sedimentology. *SEPM Special Publication*, 39, 83-91.

- Bristow, C. S. (1993). Sedimentology of the Rough Rock: a Carboniferous braided river sheet sandstone in northern England. In: J. L. Best, C. S. Bristows (Eds.). *Braided Rivers* (p. 291-304). Geological Society Special Publication.
- Caetano-Chang, M. R. (1997). *A Formação Pirambóia no centro-leste do Estado de São Paulo*. Tese (Livre-docência). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Unesp.
- Caetano-Chang, M. R., Wu, F. T. (1992). Bacia do Paraná: Formações Pirambóia e Botucatu. *37 Congresso Brasileiro de Geologia*, Roteiro de Excursão 2, 1-19. São Paulo: SBG.
- Caetano-Chang, M. R., Wu, F. T. (1993). A composição faciológica das formações Pirambóia e Botucatu no centro-leste paulista e a delimitação do contato entre as unidades. *1 Simpósio de Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná*, Boletim Resumos, 93. Rio Claro.
- Caetano-Chang, M. R., Wu, F. T. (1994). Afloramento modelo da Formação Pirambóia. *Geociências*, 13, 371-385.
- Caetano-Chang, M. R., Wu, F. T. (1995). As Formações Pirambóia e Botucatu no Estado de São Paulo. *4º Simpósio de Geologia do Sudeste*, Boletim Resumos, 64. Águas de São Pedro: SBG.
- Caetano-Chang, M. R., Wu, F. T. (2006). Arenitos flúvio-eólicos da porção superior da Formação Pirambóia no centro-leste paulista. *Revista Brasileira de Geociências*, 36(2), 296-304.
- Caetano-Chang, M. R., Wu, F. T., Brighetti, J. M. P. (1991). Caracterização eólica de arenitos da Formação Pirambóia, proximidades de São Pedro (SP). In: 2o Simpósio de Geologia do Sudeste. *Atas...*, 2, 53-58. São Paulo: SBG.
- Cottas, L. R., Godoy, A. M., Geraldies, M. C. (1986). Novas considerações petrográficas e estratigráficas sobre as Formações Pirambóia e Botucatu na Bacia Sedimentar do Paraná. *34 Congresso Brasileiro de Geologia*, Boletim Resumos, 191-195. Goiânia: SBG.
- Donatti, L. M., Sawakuchi, A. O., Giannini, P. C. F., Fernandes, L. A. (2001). The Pirambóia Botucatu Succession in São Paulo and Paraná States: different eolian systems in the Paraná Basin. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 73(3), 465.
- Gesicki, A. L. D. (2007). *Evolução diagenética das Formações Pirambóia e Botucatu (Sistema Aquífero Guarani) no Estado de São Paulo*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.
- Instituto Geológico – IG. (1984). *Formações geológicas de superfície folha geológica de Descalvado* (SF-23-V-C-IV-4). Escala 1:50.000. São Paulo: Secretaria de Agricultura e Abastecimento.
- Lavina, E. L. C. (1989). Formação Pirambóia: um episódio de desertificação da Bacia do Paraná ao final do Permiano? *1º Simpósio de Geologia do Sudeste*, Boletim Resumos, 8-9. Rio de Janeiro: SBG.
- Martin, C. A. L.; Turner, B. R. (1998). Origins of massive-type sandstones in braided river systems. *Earth-Science Reviews*, 44, 15-38.
- Matos, S. L. F. (1995). *O contato entre o Grupo Passa Dois e a Formação Pirambóia na borda leste da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências, USP.
- Miall, A. D. (1977). A review of the braided-river depositional environment. *Earth-Science Reviews*, 13, 1-62.
- Miall, A. D. (1985). Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Reviews*, 22, 261-308.
- Miall, A. D. (1996). *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. Berlim: Springer-Verlag.
- Schneider, R. L., Muhlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R. A., Daemon, R. A., Nogueira, A. A. (1974). Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. *28o Congresso Brasileiro de Geologia, Anais...*, 1, 41-65. Porto Alegre: SBG.
- Schumm, S. A. (1972). Fluvial paleochannels. In: J. K. Rigby, W. K. Hamblin (Eds.). Recognition of ancient sedimentary environments (16, 98-107). *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication*.
- Soares, P. C. (1973). *O mesozóico gondwânico no estado de São Paulo*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro – Unesp.
- Soares, P. C. (1975). Divisão estratigráfica do mesozóico do estado do São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 5, 229-251.
- Washburne, C. W. (1930). Geologia do petróleo no Estado de São Paulo. *Boletim da Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo*, 22, 1-282.